

Углегорское землетрясение 13 сентября 2020 года (о. Сахалин): предпосылки возникновения и результаты наблюдений в эпицентральной зоне

© 2020 Е. П. Семенова^{1*}, Н. В. Богинская², Д. В. Костылев^{1,2}

¹Сахалинский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая службы РАН», Южно-Сахалинск, Россия

²Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

*E-mail: semenova@seismo.sakhalin.ru

Резюме. 13 сентября 2020 г. в Углегорском районе Сахалинской области произошло землетрясение с магнитудой $M_w = 4.8$, которое жители ближайших к эпицентру населенных пунктов ощутили силой до 5 баллов по шкале MSK-64. Всего было зарегистрировано 62 повторных толчка. Сейсмический процесс продолжался около 2 суток, основная масса афтершоков была зарегистрирована в течение первых 7 ч. Эпицентры зарегистрированных землетрясений приурочены к структуре регионального Западно-Сахалинского разлома. Однако тот факт, что в эпицентральной зоне Углегорского землетрясения ведется активная добыча бурого угля на Солнцевском угольном разрезе и массово производятся взрывные работы, не исключает связи сейсмического процесса с техногенной сейсмичностью. В статье приведены результаты наблюдений за сейсмическим процессом в эпицентральной зоне Углегорского землетрясения в сентябре 2020 г., рассмотрены вероятные причины его возникновения.

Ключевые слова: сейсмические события, макросейсмические проявления, интенсивность, афтершоки, механизм очага землетрясения

Uglegorsk earthquake on September 13, 2020 (Sakhalin Island): preconditions for the occurrence and results of observations in the epicentral zone

Elena P. Semenova^{1*}, Natalya V. Boginskaya², Dmitry V. Kostylev^{1,2}

¹Sakhalin Branch, Geophysical Survey, Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

²Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

*E-mail: semenova@seismo.sakhalin.ru

Abstract. On September 13, 2020, an earthquake with a magnitude of $M_w = 4.8$ occurred in the Uglegorsk district of the Sakhalin region. Residents of the localities nearest to the epicenter felt it with a force of up to 5 points on the MSK-64 scale. A total of 62 aftershocks were recorded. The seismic process lasted for about two days, the major mass of aftershocks was registered during the first 7 hours. The epicenters of the registered earthquakes are confined to the system of the regional West Sakhalin fault. However, the fact of active mining of brown coal at the Solntsevskii quarry and massive blasting in the epicentral zone of the Uglegorsk earthquake does not exclude the relation between the seismic process and technogenic seismicity. The article presents the results of observations of the seismic process in the epicentral zone of the Uglegorsk earthquake in September 2020 and considers the probable causes of its occurrence.

Keywords: seismic events, macroseismic manifestations, intensity, aftershocks, earthquake focal mechanism

Для цитирования: Семенова Е.П., Богинская Н.В., Костылев Д.В. Углегорское землетрясение 13 сентября 2020 года (о. Сахалин): предпосылки возникновения и результаты наблюдений в эпицентральной зоне. *Геосистемы переходных зон*, 2020, т. 4, № 4, с.474 – 485. <https://doi.org/10.30730/gtrz.2020.4.4.474-485>

For citation: Semenova E.P., Boginskaya N.V., Kostylev D.V. Uglegorsk earthquake on September 13, 2020 (Sakhalin Island): preconditions for the occurrence and the results of observations in the epicentral zone. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2020, vol. 4, no. 4, pp. 474–485. (In Russ., abstr. in Engl.). <https://doi.org/10.30730/gtrz.2020.4.4.474-485>

Введение

Землетрясения представляют собой мощное и чрезвычайно опасное природное явление. В конце XX – начале XXI в. население о. Сахалин смогло убедиться в этом на примере катастрофического землетрясения в г. Нефтегорск (1995 г., $M_w = 7.2$), разрушительного землетрясения в г. Невельск (2007 г., $M_w = 6.2$). Одно из сильнейших сахалинских землетрясений с $M_w = 6.7$ произошло 4 августа 2000 г. в Углегорском районе, когда были отмечены значительные повреждения зданий, отдельные из них стали непригодны для жилья. По берегам рек, в полотное шоссе дорог появились многочисленные обвалы, микрооползни и трещины [Коновалов и др., 2014]. Исследование землетрясений на Сахалине актуально как для понимания сейсмических процессов, протекающих в регионе, так и для оценки сейсмической опасности и риска.

Произошедшее 13 сентября 2020 г. в Углегорском районе землетрясение с магнитудой $M_w = 4.8$ представляет интерес не только в изучении сейсмичности одного из сегментов глубинных разломов, которые как сеть покрывают остров Сахалин, но и в вопросе о сейсмической активизации вблизи открытых горных выработок [Еманов и др., 2017].

Известно, что в Углегорском районе на протяжении 90 лет ведется длительная и интенсивная разработка полезных ископаемых. Влиянием добычи углеводородов на сейсмичность ранее занимались сотрудники ИМГиГ ДВО РАН на примере нефтегазовых месторождений Северного Сахалина. В своих работах авторы [Адушкин, Турунтаев, 2015] отмечали изменение одного из параметров графика повторяемости, который принимает значения, характерные для техногенной или техногенно-индуцированной сейсмичности. И хотя признаков опасного нарастания сейсмической активности в связи с разработкой месторождений углеводородов на шельфе о. Сахалин выявлено не было [Турунтаев и др., 2015; Коновалов и др., 2016], резкое увеличение в последние годы масштабов добычи угля и количества сопровождающих ее взрывов в Углегорском районе заставляет вернуться к проблеме влияния техногенной деятельности на активизацию сейсмичности.

В эпицентральной зоне произошедшего 13 сентября 2020 г. землетрясения мониторинг проводится сейсмическими станциями региональной сети Сахалинского филиала Феде-

рального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (СФ ФИЦ ЕГС РАН), которые обеспечивают регистрацию землетрясений начиная с магнитуды 3.2. Сейсмические события с меньшей энергетической силой регистрируются только одной сейсмической станцией в Углегорске и не позволяют в полной мере достоверно локализовать параметры их эпицентров.

В предлагаемой статье отражены результаты обследования эпицентральной зоны Углегорского землетрясения 13.09.2020 и сбора макросейсмических данных группой специалистов СФ ФИЦ ЕГС РАН и Института морской геологии и геофизики ДВО РАН (ИМГиГ ДВО РАН), рассмотрены возможные предпосылки возникновения этого сейсмического события.

Результаты

Параметры Углегорского землетрясения 13 сентября 2020 г.

13 сентября 2020 г. в Углегорском районе Сахалинской области было зарегистрировано землетрясение с магнитудой $M_w = 4.8$. В табл. 1 приведены параметры главного толчка 13.09.2020 в 13:42 UTC (00:42 14.09.2020 сахалинского времени) по данным международных сейсмологических центров и регионального информационно-обрабатывающего центра (РИОЦ) «Южно-Сахалинск».

На рис. 1 приведена карта с эпицентром землетрясения 13 сентября 2020 г. в 13:42 UTC и показаны варианты локализации эпицентра главного толчка по данным разных сейсмологических служб. Разброс в вариантах положения эпицентра Углегорского землетрясения находится в диапазоне $\Delta\varphi = 48.89\text{--}48.96^\circ \text{ N}$, $\Delta\lambda = 142.00\text{--}142.15^\circ \text{ E}$ и определяется различной конфигурацией сети сейсмических станций регистрации, данные которых были использованы при локализации сейсмического события.

Оценка энергетической силы землетрясения 13 сентября 2020 г., выполненная по разным магнитудным шкалам, принятым в практике различных сейсмологических центров, показала сопоставимые по величине значения, среднее отклонение составило ± 0.1 единицы (табл. 1).

Значения глубины очага h данного сейсмического события колеблются от 8 до 10 км (табл. 1), что соответствует современным заключениям о тектонике о. Сахалин [Оскорбин, Бобков, 1997].

Таблица 1. Параметры землетрясения 13.09.2020 13:42 UTC по данным различных сейсмологических центров
Table 1. Parameters of the earthquake on September 13, 2020 13:42 UTC according to the data of various seismological centers

Источник	Время в очаге, ч:мин:с	Координаты эпицентра		Глубина h , км	Магнитуда
		φ° N	λ° E		
РИОЦ «Южно-Сахалинск»	13:42:26.2	48.89	142.14	8	ML = 4.8 MPV(A) = 4.9
EMSC	13:42:26.3	48.95	142.06	10	mb = 4.9
ССД ЕГС РАН	13:42:26.0	48.96	142.00	10	mb = 5.1
GFZ	13:42:26.8	48.93	142.15	10	mb = 4.8
USGS	13:42:26.4	48.93	142.09	10	mb = 5.0

Примечание. РИОЦ «Южно-Сахалинск» – региональный информационно-обработывающий центр Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН; EMSC – Европейско-Средиземноморский сейсмологический центр (<https://www.emsc-csem.org>); ССД ЕГС РАН – Служба срочных донесений ФИЦ ЕГС РАН; GFZ – германский исследовательский центр геонаук (<https://www.gfz-potsdam.de>); USGS – Геологическая служба США (<https://www.usgs.gov>). MPV(A) – магнитуда по волне P (тип аппаратуры А), принятая в практике ГС РАН; ML – локальная магнитуда; mb – магнитуда по P -волнам короткопериодной записи, принятая в практике USGS/NEIS.

Note. RIPC "Yuzhno-Sakhalinsk" – regional information processing center of the Sakhalin branch of the Federal Research Center of the GS RAS; EMSC – Euro-Mediterranean Seismological Center (<https://www.emsc-csem.org>); AS GS RAS – Alert Service of the Federal Research Center of the GS RAS; GFZ – German Research Center for Geosciences (<https://www.gfz-potsdam.de>); USGS – United States Geological Survey (<https://www.usgs.gov>). MPV(A) – magnitude of the P -wave (type of equipment A), accepted in the practice of the GS RAS; ML is the local magnitude; mb – P -wave magnitude of a short-period recording, accepted in the USGS / NEIS practice.

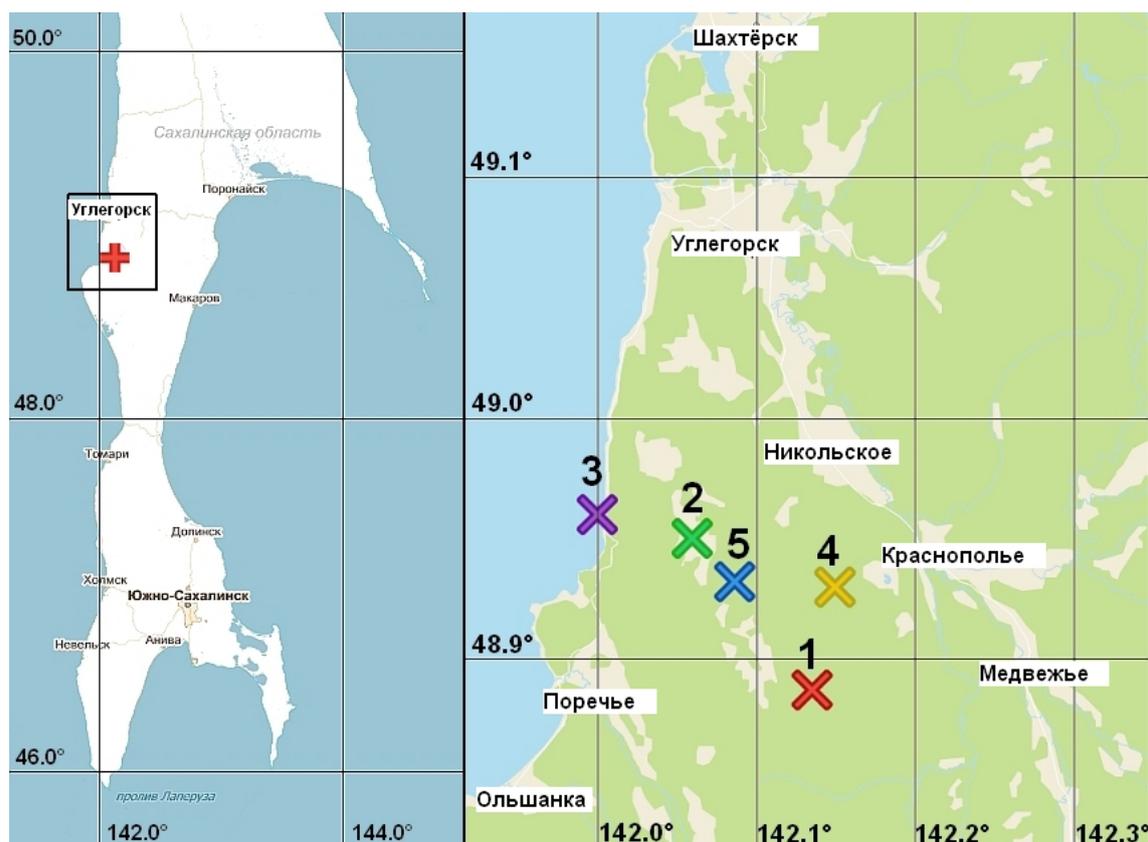


Рис. 1. Слева – положение эпицентра Углегорского землетрясения 13.09.2020 г. в 13:42 UTC по данным РИОЦ «Южно-Сахалинск». Справа фрагмент с различными вариантами локализации эпицентра главного толчка по данным: 1 – РИОЦ «Южно-Сахалинск»; 2 – EMSC; 3 – ССД ЕГС РАН; 4 – GFZ; 5 – USGS.

Figure 1. On the left side, there is the epicenter of the September 13, 2020 Uglegorsk earthquake at 13:42 UTC by the data of RIPC «Yuzhno-Sakhalinsk». On the right, there is a fragment with possible epicenters of the main shock according to Table 1: 1 – RIPC «Yuzhno-Sakhalinsk»; 2 – EMSC; 3 – AS GS RAS; 4 – GFZ; 5 – USGS.

Механизм очага землетрясения 13 сентября 2020 г. в 13:42 UTC с магнитудой $M_w = 4.8$ был определен с помощью вычислительного модуля FOCMEC, интегрированного в комплекс сейсмологических программ SEISAN [Ottmöller et al., 2011]. Всего было использовано 30 знаков вступлений первых движений P -волны при одном несогласованном знаке, зарегистрированных на вертикальной компоненте записей сейсмических колебаний. В соответствии с полученным решением подвижка в очаге реализовалась в условиях горизонтального субширотного растяжения и близгоризонтального субмеридионального сжатия, т.е. может квалифицироваться как сдвиг, либо левосторонний вдоль плоскости NP1 северо-восточного простирания, либо правосторонний вдоль плоскости NP2 юго-восточного простирания (табл. 2).

В табл. 2 представлено также решение механизма для сильного повторного толчка 13 сентября 2020 г. в 14:09 UTC с магнитудой $M_w = 4.6$. Задействовано 26 знаков первых вступлений P -волны при 2 несогласованных, зарегистрированных на вертикальной компоненте записей сейсмических колебаний. Тип сейсмодислокации сдвиговый, как и у главного события, однако наклон главных осей напряжений несколько изменился: ось сжатия субмеридионального простирания горизонтальна, а ось растяжения субширотного простирания наклонена под углом к западу, ориентация и направление подвижки по нодальной плоскости NP1 примерно соответствует главному событию, плоскость NP2 поменяла направление падения с юго-западного на северо-восточное.

Макросейсмические проявления Углегорского землетрясения 13 сентября 2020 г.

Землетрясение 13 сентября 2020 г. вызвало сотрясения силой до 5 баллов по шкале сейсмической интенсивности MSK-64 в населенных пунктах Никольское, Краснополье, Медвежье. По результатам макросейсмического обследования в эпицентральной зоне Углегорского землетрясения в этих населенных пунктах были выявлены повреждения отдельных зданий. В с. Медвежье сдвинулся ряд шлакоблоков, которые поддерживали крышу хозяйственной пристройки к одноэтажному дому. В селах Краснополье и Никольское наиболее наглядно повреждения проявились внутри зданий школ: множественные волосяные трещины на стенах и потолке в помещениях классов, выпадения кусков штукатурки; в с. Никольское сдвинулись смежноукрепленные здания школы и спортивного зала. На рис. 2 фрагменты повреждений зданий школ сел Никольское и Краснополье.

В табл. 3 приводятся результаты макросейсмического обследования в эпицентральной зоне Углегорского землетрясения 13 сентября 2020 г.

На рис. 3 представлена карта-схема интенсивности сотрясений от данного землетрясения по результатам проведенного макросейсмического обследования в эпицентральной зоне (табл. 3).

Стоит отметить, что в населенных пунктах Орлово, Ольшанка и Поречье, расположенных на побережье Татарского пролива с западной стороны Камышевого хребта, землетрясе-

Таблица 2. Параметры механизма очага землетрясений 13.09.2020 в 13:42 UTC и в 14:09 UTC

Table 2. Parameters of the focal mechanism of earthquakes on September 13, 2020 at 13:42 UTC and at 14:09 UTC

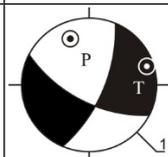
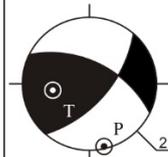
Параметры землетрясения	Оси главных напряжений				Нодальные плоскости						Тип сейсмодислокации	Стереодиаграмма механизмов (нижняя полусфера)
	Т		Р		NP1			NP2				
	PL	Az	PL	Az	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP		
13.09.2020 13:42 UTC $M_w = 4.8$	9	72	24	338	23	80	-24	118	66	-169	Сдвиг	
13.09.2020 14:09 UTC $M_w = 4.6$	41	260	3	168	41	65	33	295	60	150	Сдвиг	



Рис. 2. Выявленные повреждения зданий школ в селах Никольское (вверху) и Краснополье (внизу) по результатам макросейсмического обследования эпицентральной зоны Углегорского землетрясения 13.09.2020. Фото Д.В. Костылева

Figure 2. Identified deformations of schools in Nikolskoye (top) and Krasnopolye (bottom) according to the results of macroseismic studies of the epicentral zone of the September 13, 2020 Uglegorsk earthquake. Photo by D.V. Kostylev

Таблица 3. Результаты макросейсмического обследования в эпицентральной зоне Углегорского землетрясения 13.09.2020

Table 3. Results of macroseismic studies in the epicentral zone of the September 13, 2020 Uglegorsk earthquake

Населенный пункт	D, км	Балл по шкале MSK-64
с. Поречье	11	4
с. Краснополье	13	5
с. Никольское	15	5–6
с. Ольшанка	14	4
с. Медвежье	15	5
с. Ольховка	19	4–5
с. Орлово	16	4–5
г. Углегорск	22	4–5
с. Трудовик	22	4
пос. Шахтерск	32	3–4
с. Айнское	38	Не ощутили
с. Тельновский	55	Не ощутили
с. Лесогорск	60	1–2
с. Красногорск	56	2
с. Ильинское	103	Не ощутили

Примечание. D, км – гипоцентральное расстояние от эпицентра до пункта наблюдений.

Note. D, km – hypocentral distance from the epicenter to the observation point.

ние ощутили слабее. Можно предположить, что это обусловлено особенностью рельефа. На всем протяжении рельеф острова характеризуется как система субмеридиональных поднятий и понижений. И при возникновении землетрясений субмеридиональные поднятия Сахалина частично поглощают энергию сейсмических волн [Семенова и др., 2013].

По данным макросейсмического обследования был построен график затухания интенсивности сотрясений при Углегорском землетрясении 13.09.2020 в зависимости от гипоцентрального расстояния (рис. 4), с использованием метода средних квадратов вычислен коэффициент затухания. При глубине гипоцентра землетрясения $h = 8$ км коэффициент затухания составил $\nu = 4.2$, это соответствует принятому для Сахалина значению $\nu = 4.3 \pm 0.6$ [Оскорбин, 1977b].

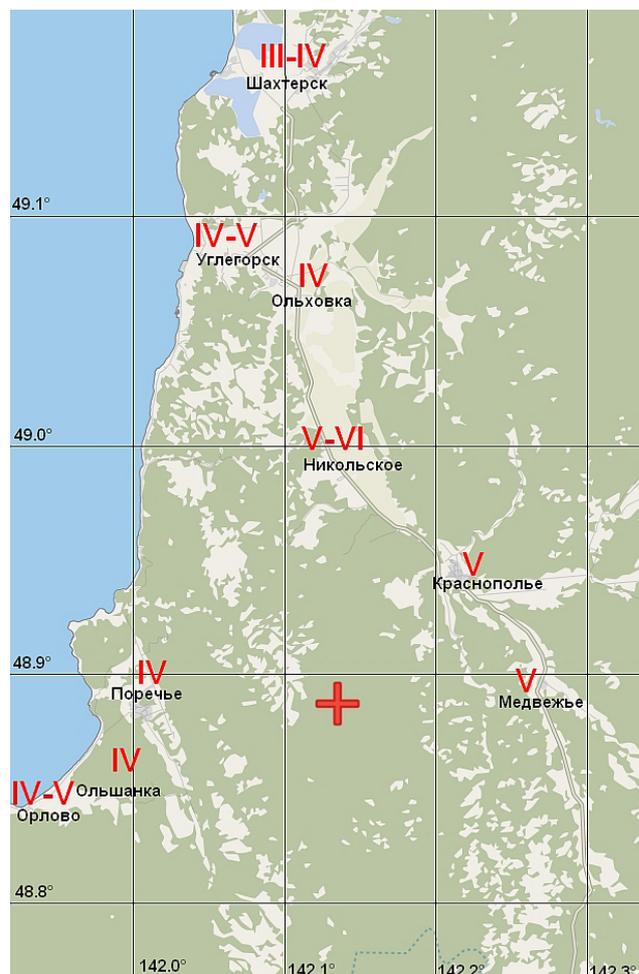


Рис. 3. Карта-схема интенсивности сотрясений Углегорского землетрясения 13.09.2020. Римские цифры – балл интенсивности (табл. 3).

Figure 3. Schematic map of macroseismic intensity of the September 13, 2020 Uglegorsk earthquake. Roman numerals – intensity values (Table 3).

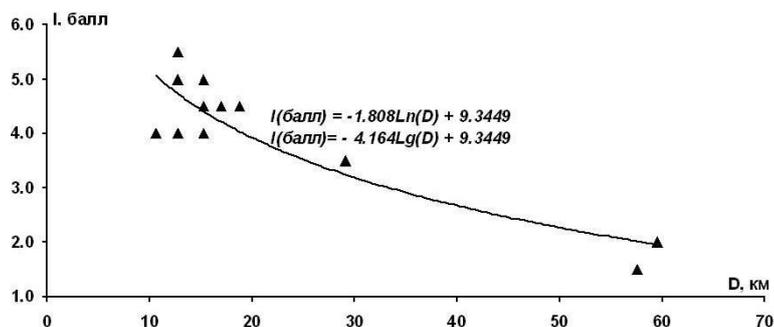


Рис. 4. График затухания интенсивности сотрясений в зависимости от гипоцентрального расстояния D при землетрясении 13.09.2020 в 13:42 UTC. Вертикальная ось – интенсивность сотрясений в пунктах наблюдений. Приведены зависимости между интенсивностью сотрясений и гипоцентральным расстоянием.

Figure 4. The graph of the intensity decrease depending on the hypocentral distance D during the September 13, 2020 earthquake at 13:42 UTC. The vertical axis is the intensity at the observation points. The graph shows the relationship between the intensity and the hypocentral distance.

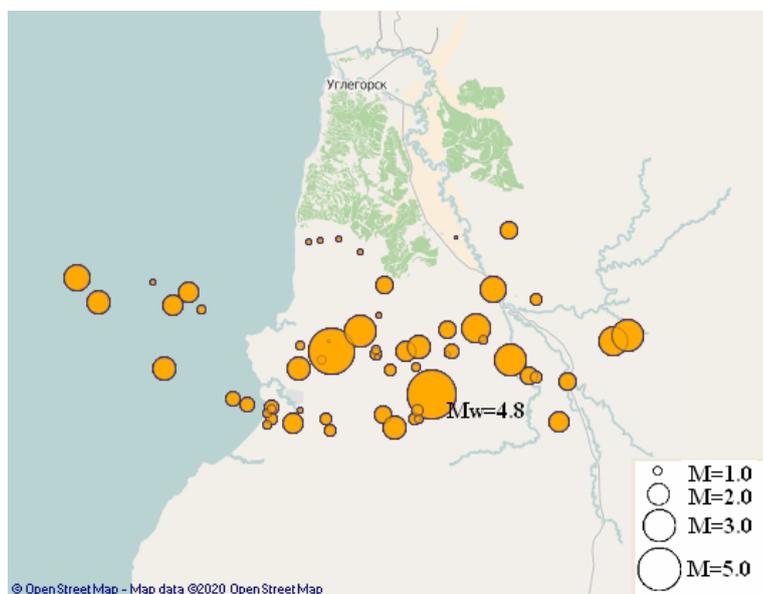


Рис. 5. Карта афтершоков Углегорского землетрясения 13.09.2020 с $M_w = 4.8$ по данным оперативной обработки в РИОЦ «Южно-Сахалинск».

Figure 5. Aftershock map of the September 13, 2020 Uglegorsk earthquake with $M_w = 4.8$ according to the operational data processing of RIPC «Yuzhno-Sakhalinsk».

Афтершоки

По результатам сейсмического мониторинга с использованием данных региональной сети сейсмических станций СФ ФИЦ ЕГС РАН в эпицентральной зоне Углегорского землетрясения 13.09.2020 было зарегистрировано 62 повторных толчка и определены их параметры, из них 70 % – по данным только одной сейсмической станции «Углегорск» при фик-

сированном значении глубины очага. Параметры еще 17 афтершоков были определены более чем по 3 сейсмическим станциям. Самый сильный афтершок $M_w = 4.6$ произошел спустя 27 мин после основного толчка на глубине 6 км. Его также ощутили жители Углегорского района, но уже с меньшей силой.

Как видно из рис. 5, зона афтершоков Углегорского землетрясения 13.09.2020 растянута в широтном направлении. Такое расположение эпицентров повторных толчков соответствует однонаправленной субмеридиональной конфигурации региональной сети сейсмических станций, которые расставлены вдоль острова на значительных расстояниях друг от друга и не могут в полной мере обеспечить надежное определение эпицентров возникающих землетрясений. Для качественного мониторинга сейсмичности требуется установка дополнительных пунктов сейсмических наблюдений в центральной и северной частях о. Сахалин.

Суммарно выделившаяся в результате Углегорского землетрясения и его афтершоков сейсмическая энергия была равна $5.64 \cdot 10^{12}$ Дж, энергия главного толчка составила более 77 % (рис. 6).

Как можно наблюдать на рис. 6, интенсивное выделение сейсмической энергии происходило в течение первых 7 ч, когда было зарегистрировано 45 афтершоков. Наиболее сильные из них отмечены на диаграмме: в 14:09 UTC ($M = 4.5$), 16:12 UTC ($M = 3.2$), 20:49 UTC ($M = 3.2$) 13 сентября и в 08:24 ($M = 3.2$) 14 сентября.

Для лучшего понимания природы Углегорского землетрясения 13.09.2020 выполнена оценка спадания афтершоковой активности применительно к закону Утсу–Омори [Utsu, 1961; Utsu et al., 1995] (рис. 7).

Значение показателя степени $p \sim -0,6$ для афтершоков Углегорского землетрясения 13 сентября 2020 г. существенно отличается от показателей, характерных для естественной сейсмичности, полученных при исследовании

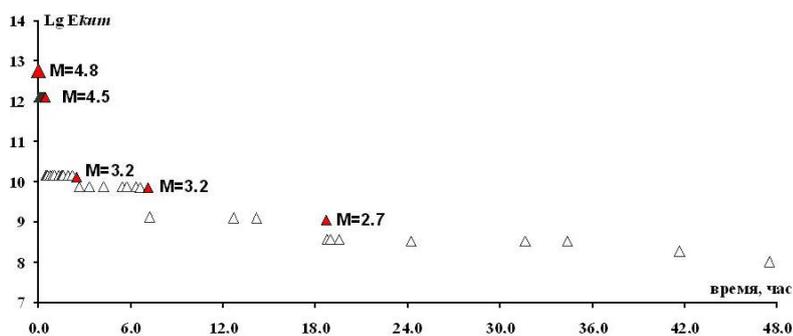


Рис. 6. Распределение во времени суммарно выделившейся сейсмической энергии E_{kum} в результате Углегорского землетрясения 13.09.2020 с $M_w = 4.8$ и его афтершоков (E_{kum} в логарифмическом масштабе). Красным треугольником выделены главный толчок и наиболее сильные афтершоки, зарегистрированные в эпицентральной зоне.

Figure 6. Time distribution of released seismic energy E_{kum} as a result of the September 13, 2020 Uglegorsk earthquake with $M_w = 4.8$ and its aftershocks (E_{kum} on a logarithmic scale). The main shock and the strongest aftershocks are marked with a red triangles.

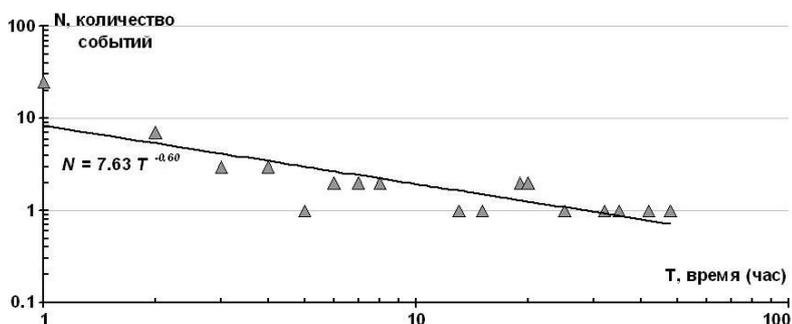


Рис. 7. Тренд спада афтершокового процесса Углегорского землетрясения 13.09.2020 с $M_w = 4.8$. Горизонтальная ось – логарифм времени от момента главного толчка, вертикальная – логарифм числа зарегистрированных афтершоков. Символы – количество землетрясений, зарегистрированных в единицу времени. Данные аппроксимированы степенной зависимостью методом наименьших квадратов.

Figure 7. Trend of the aftershock decline process of the September 13, 2020 Uglegorsk earthquake with $M_w = 4.8$. The horizontal axis is the logarithm of time from the moment of the main shock, the vertical axis is the logarithm of number of registered aftershocks. Number of earthquakes per time unit is marked with triangles. The data were approximated by a power law dependence using the method of least squares.

афтершоковых процессов сахалинских землетрясений на интервале разных значений магнитуд [Семенова 2010; Семенова, Коновалов, 2011], и может являться одним из признаков техногенного влияния на сейсмический процесс [Адушкин, Турунтаев, 2015].

Тектоническая обстановка в зоне Углегорского землетрясения 13.09.2020

Активные разломы о. Сахалин объединяют в Хоккайдо-Сахалинскую сдвиговую зону, которая подразделяется на Западно-Сахалинскую и Восточно-Сахалинскую [Стрельцов, Рождественский, 1995]. Крупнейшие разломы

этих зон – Западно-Сахалинский, Центрально-Сахалинский, Восточно-Сахалинский, Хоккайдо-Сахалинский имеют субмеридиональное направление и явные признаки правосторонних сдвиговых смещений [Оскорбин, Бобков, 1997]. Протянувшийся вдоль западного берега островов Сахалина и Хоккайдо Западно-Сахалинский разлом более чем на 1000 км служит границей между Западно-Сахалинским антиклинорием и Татарским синклинорием и проявляется в виде густой сети связанных между собой сбросов, сбросо-сдвигов, взбросов.

Из сопоставления наблюдаемой сейсмичности со структурно-тектоническим планом Сахалина вытекает, что с 1906 г. наиболее высокий уровень реализованного сейсмотектонического потенциала отмечается в зоне контакта структур Сахалина с северной частью Японской котловины [Оскорбин, Бобков, 1997]. В зоне Западно-Сахалинского разлома и оперяющих его структур произошли такие сильные землетрясения, как Александровское с $M_w = 6.0$ в 1906 г., Углегорско-Лесогорское с $M_w = 6.8$ в 1924 г., Углегорско-Айнское с $M_w = 6.7$ в 2000 г., Горнозаводское с $M_w = 5.7$ в 2006 г., Невельское с $M_w = 6.2$ в 2007 г. [Региональный... , 2006; Поплавская и др., 2006; Фокина, Сафонов, 2012; Сафонов и др., 2013; Коновалов и др., 2014]. Для полноты картины стоит

отметить, что фоновая сейсмичность Западно-Сахалинского разлома проявляется на всем его протяжении, а промежуточные по силе землетрясения возникают эпизодически, исключая перешеек Поясок [Оскорбин, 1977а; Оскорбин, Бобков, 1997].

Обсуждение результатов

В соответствии с приведенными в работе [Оскорбин, Бобков, 1997] характеристиками сейсмогенных зон о. Сахалин, эпицентры углегорских землетрясений в сентябре 2020 г. тяготеют к Западно-Сахалинской шельфовой зоне, которая рассечена субмеридиональными

и субширотными разрывными структурами надрегионального Западно-Сахалинского разлома. Наибольшая сейсмическая активность наблюдается на Углегорско-Бошняковском участке этой зоны [Оскорбин, Бобков, 1997]. Эпицентр зарегистрированного 13 сентября 2020 г. землетрясения с магнитудой $M_w = 4.8$ локализован на северном фланге эпицентральной зоны Углегорско-Айнского землетрясения 4 августа 2000 г., очаг которого был приурочен к составной части Западно-Сахалинского глубинного разлома – Краснопольскому разлому [Прытков, 2006].

Таким образом, Углегорское землетрясение возникло вследствие субширотных растягивающих напряжений и сжимающих близгоризонтальных, тип подвижки – сдвиг. Расположение эпицентров афтершоков даже при имеющемся дефиците станций сети регистрации не противоречит механизму главного толчка в зоне Углегорского землетрясения. Глубины очагов Углегорского землетрясения и его афтершоков находятся в диапазоне 5–14 км, что соответствует характеристикам Западно-Сахалинской шельфовой сейсмогенной зоны (мощность земной коры 28–31 км, гранитного слоя 6–10 км, базальтового 15–18 км).

При интерпретации причин возникновения сентябрьских событий в Углегорском районе обращает на себя внимание также приуроченность эпицентров землетрясений к месту проведения активной добычи бурого и каменного угля. Исследования угольных месторождений в Углегорском районе были начаты в начале XX в. японскими геологами [Геология СССР, 1970], а уже в 20-х годах здесь велась активная добыча угля как в шахтах, так и открытым способом [Гришачев, 2019]. В частности, с 1928 г. работала шахта № 3 (пос. Тэннай), которая располагалась в 12 км от расчетного эпицентра. В настоящее время добыча угля в районе ведется открытым способом на нескольких участках, наиболее активно на Солнцевском угольном разрезе (СУР) Восточной горнорудной компании [Солнцевский разрез... , 2019]. Добыча угля здесь проводится на двух участках:

Южный-I и Южный-II. В результате поисково-разведочных работ, в частности каротажных, в 1979–1981 гг. на участке Южный-I Сахалинская геологоразведочная экспедиция объединения «Сахалингеология» выявила осложняющие эксплуатацию факторы, такие как наличие в разрезе слабых пород, трещиноватость, способность пород к размоканию*. В дальнейших геологических исследованиях района добычи также отмечалось наличие тектонических нарушений, в зоне которых устойчивость пород снижается.

Объемы добычи угля на Солнцевском угольном разрезе в последние три года неуклонно увеличивались. При этом пропорционально рос объем вскрышных работ. Так, только за 9 мес. 2020 г. на Солнцевском угольном разрезе перемещено 75.5 млн кубометров горной массы, годом ранее – более 55 млн т (<http://miner.ru/info/2733/>). При проведении макросейсмического обследования поступали многочисленные жалобы от жителей сел Краснополя, Никольского, Медвежье Углегорского района о взрывных работах, сопровождающихся ударными волнами, от которых дребезжат стекла окон в домах, слышен сильный гул, пугающий население.

СФ ФИЦ ЕГС РАН проводит мониторинг промышленных взрывов, в том числе и в Углегорском районе. По результатам этого мониторинга проанализировали динамику изменения частоты и характера взрывов, зарегистрированных в координатах 48.7–49.5° с.ш. и 141.7–142.5° в.д., и сопоставили их с сейсмичностью в том же районе (рис. 8).

Обращает на себя внимание тот факт, что при уменьшении общего количества зарегистрированных взрывов с конца 2019 г. их суммарная энергия практически не изменилась, что говорит о возросшей мощности каждого отдельного взрыва. Также можно отметить, что к концу 2019 г. суммарная энергия взрывов, произведенных на участке исследования с 2017 г., превысила суммарную энергию от сейсмических событий за тот же период времени. При этом с начала 2020 г.

*Геологический отчет по предварительной разведке участка Южного Солнцевского бурого угольного месторождения на Сахалине, проведенной в 1981–1982 гг. 1982. Исп.: Кириллов Е.М., Гуляева Л.С., Стрючков В.В., Андреева М.Н. Министерство геологии РСФСР, Сахалинское производственное геологическое объединение «Сахалингеология», Сахалинская геологоразведочная экспедиция. Южно-Сахалинск, 131 с. [*Geological report on preliminary exploration of the area of Southern Solntsevskoe brown coal field on the Sakhalin conducted in 1981–1982. 1982. Authors: Kirillov E.M., Gulyaeva L.S., Stryuchkov V.V., Andreeva M.N. Ministry of Geology of the RSFSR, "Sakhalingeology" production association, Sakhalin geological survey expedition*]. Yuzhno-Sakhalinsk: Sakhalingeologiya, 131 p. (In Russ.).

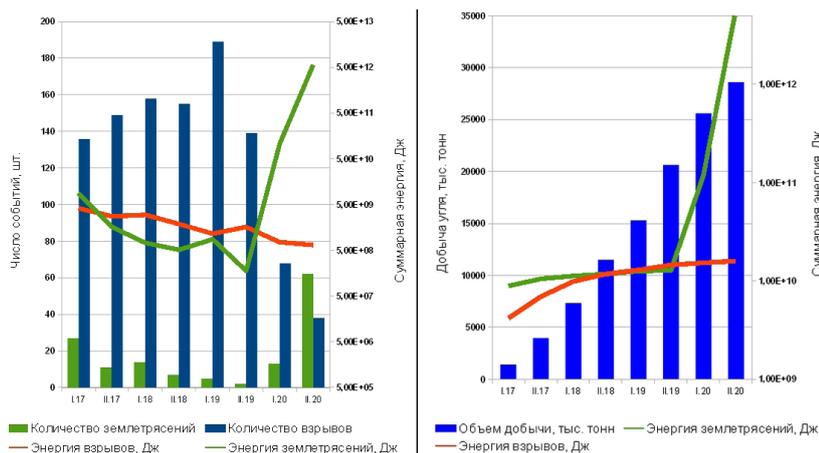


Рис. 8. Сопоставление количества и мощности промышленных взрывов и проявлений сейсмичности района в период I.2017 – IX.2020 с полугодовым интервалом (слева) и накопительного роста объемов добычи угля на СУР с накоплением энергии взрывов и сейсмических событий за тот же период (справа).

Figure 8. Comparison of number and total energy from industrial blasts and the regional seismicity during the period I.2017 – IX.2020 with a biannual interval (left) and cumulative growth of coal production at the SCM with the accumulation of blast energy and seismic events during the same period (right).

отмечается рост сейсмичности в данном районе (рис. 8).

Кроме Солнцевского месторождения в районе действуют лицензии на добычу угля и на других участках, где ведется или планируется добыча открытым способом – Константиновском и Соболевском. Также в районе находятся разрабатываемые длительное время каменные карьеры андезитов и базальтов – месторождения Эхминское и Изъльметьевское. Такое количество участков активной разработки недр на небольшой (20 × 20 км) площади делает особо важным проведение детального мониторинга данного участка, для чего необходимо размещение дополнительных сейсмических станций и, возможно, привлечение оборудования для комплексного мониторинга (измерения уровня почвенного радона, сейсмоакустических наблюдений). На рис. 9 приведена карта с эпицентрами сейсмических событий,

участками разработки и возможным местоположением дополнительных станций.

По результатам наблюдений в эпицентральной зоне Углегорского землетрясения 13 сентября 2020 г с $M_w = 4.8$ на заседании Сахалинского филиала Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска (протокол заседаний СФ РЭС № 1 от 06.10.2020 г.) было принято решение о проведении детального мониторинга промышленных взрывов на угольных месторождениях.

Заклучение

Землетрясение 13 сентября 2020 г. в 13:42 UTC с магнитудой $M_w = 4.8$. было зарегистрировано сейсмическими станциями региональной и мировой системы сейсмологических наблюдений. Параметры эпицентра по

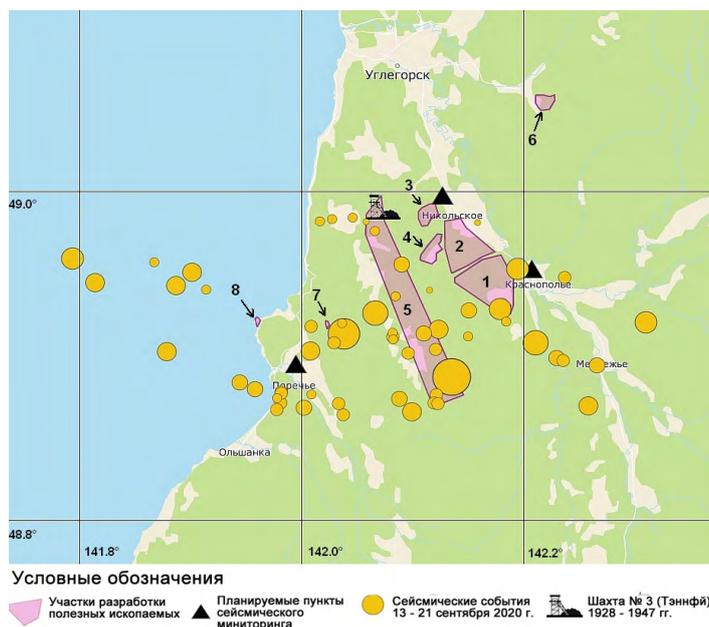


Рис. 9. Участки добычи полезных ископаемых: 1 – Южный-1 Солнцевское, 2 – Южный-2 Солнцевское (ЗАО «Солнцевский угольный разрез»); 3 – Центральный-бис, 4 – Центральный (ООО «Углегорскуголь»); 5 – Соболевское каменноугольное месторождение (ООО «Угольные ресурсы Сахалина»); 6 – Константиновское месторождение (ООО «Западная угольная компания»); 7 – Эхминское (андезит); 8 – Изъльметьевское (андезитобазальт). На рисунке нанесены эпицентры зарегистрированных землетрясений за период с 13 по 21 сентября 2020 г.

Figure 9. Mine sites: 1 – Yuzhny-1 Solntsevskoye, 2 – Yuzhny-2 Solntsevskoye (ZAO “Solntsevsky coal mine”); 3 – Central-bis, 4 – Central (OOO “Uglegorskugol”); 5 – Sobolevskoe coal deposit (OOO “Ugolnyye resursy Sakhalina”); 6 – Konstantinovskoe deposit (OOO “Zapadnaya ugolnaya kompaniya”); 7 – Ekhminkskoe (andesite); 8 – Izlymet'yevskoe (andesite-basalt). The figure shows epicenters of the registered earthquakes during the period from September 13 to 21, 2020.

данным региональной сейсмологической сети СФ ФИЦ ЕГС РАН и международных сейсмологических центров показали близкие результаты. Наибольшая интенсивность сотрясений 5–6 баллов по шкале MSK-64 была зафиксирована в ближайших к эпицентру населенных пунктах Углегорского района о. Сахалин.

Землетрясение возникло вследствие субширотных растягивающих напряжений и сжимающих близгоризонтальных, тип подвижки – сдвиг.

Региональной сейсмической сетью было зарегистрировано 62 повторных толчка, их эпицентры приурочены к Западно-Сахалинской шельфовой зоне, сейсмичность которой определяется активными субмеридиональными и субширотными разрывными структурами надрегionalного Западно-Сахалинского разлома. В течение чуть более 7 ч активного сейсмического процесса зарегистрировано 4 афтершока с магнитудой $M \geq 3.0$, наиболее сильный из которых имел магнитуду $M = 4.6$.

При оценке спадания афтершоковой активности применительно к закону Утсу–Омори получено значение показателя степени $p \sim -0.6$, нехарактерное для естественной сейсмичности сахалинских землетрясений, что мо-

жет свидетельствовать о техногенном влиянии на сейсмический процесс.

Суммарная энергия зарегистрированных на Солнцевском угольном разрезе взрывов, произведенных с 2017 по 2019 г., превысила этот показатель для сейсмических событий за тот же период времени. При этом с начала 2020 г. отмечается тенденция к активизации сейсмичности в данном районе.

Каротажные работы на одном из участков Солнцевского угольного разреза показали, что проведение вскрышных работ может сопровождаться тектоническими нарушениями в зоне, где устойчивость пород снижается.

Сахалинским филиалом Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска 6 октября 2020 г. принято решение о проведении детального мониторинга промышленных взрывов на участках добычи угольных месторождений. Установка 3–4 короткопериодных сейсмометров в Углегорском районе будет способствовать более точной локализации проводимых там взрывных работ, оценке их воздействия на сейсмическую активизацию, проведению полноценного мониторинга слабой сейсмичности.

Список литературы

1. Адушкин В.В., Турунтаев С.Б. **2015**. *Техногенная сейсмичность – индуцированная и триггерная*. М.: ГЕОС, 364 с.
2. *Геология СССР*. Т. 33. *Остров Сахалин. Геологическое описание*. **1970**. М.: Недра, 432 с.
3. Гришачев С.В. **2019**. Японское губернаторство Карафутто (1905–1945): история и социальная память. *Ежегодник Японии*, 48: 272–286.
4. Еманов А.А., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Лескова Е.В. **2017**. Одновременное воздействие открытых и подземных горных работ на недра и наведенная сейсмичность. *Вопросы инженерной сейсмологии*, 44 (4): 51–62.
5. Коновалов А.В., Нагорных Т.В., Сафонов Д.А. **2014**. *Современные исследования механизмов очагов землетрясений о. Сахалин*. Владивосток: Дальнаука, 252 с.
6. Коновалов А.В., Степнов А.А., Гаврилов А.В., Манайчев К.А., Сычѳв А.С., Клачков В.А., Сабуров М.С. **2016**. Особенности региональной сейсмичности на севере о. Сахалин в связи с промышленным освоением месторождений нефти и газа на шельфе. *История науки и техники*, 6: 63–71.
7. Оскорбин Л.С. **1977а**. Сейсмичность Сахалина. В кн.: *Сейсмическое районирование Сахалина*. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, с. 3–23.
8. Оскорбин Л.С. **1977б**. Уравнения сейсмического поля сахалинских землетрясений. В кн.: *Сейсмическое районирование Сахалина*. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 34–45.
9. Оскорбин Л.С., Бобков А.О. **1997**. Сейсмогенные зоны Сахалина и сопредельных областей. В кн.: *Проблемы сейсмической опасности Дальневосточного региона*. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 154–178. (Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией; т. 6).
10. Поплавская Л.Н., Нагорных Т.В., Фокина Т.А., Поплавский А.А., Пермикин Ю.Ю., Стрельцов М.И., Ким Чун Ун, Сафонов Д.А., Мельников О.Я., Рудик М.И., Оскорбин Л.С. **2006**. Углегорско-Айнское землетрясение 4 августа 2000 года с $MLH=7.0$, $I_0=8-9$ (Сахалин). В кн.: *Землетрясения Северной Евразии в 2000 году*. Обнинск: ГС РАН, с. 265–284.
11. Прытков А.С., Василенко Н.Ф. **2006**. Дислокационная модель очага Углегорского землетрясения 2000 г. (о. Сахалин). *Тихоокеанская геология*, 25(6): 115–122.

12. Региональный каталог землетрясений острова Сахалин, 1905–2005 гг. **2006**. Поплавская Л.Н. (ред.) Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 103 с.
13. Сафонов Д.А., Нагорных Т.В., Фокина Т.А. **2013**. Невельские землетрясения 2 августа 2007 года с $MLH=6.3$ и $MLH=6.0$, $I_0=8$ (о. Сахалин). В кн.: *Землетрясения Северной Евразии в 2007 году*. Обнинск: ГС РАН, с. 396–407.
14. Семенова Е.П. **2010**. Особенности проявления афтершоковой деятельности сильных сахалинских землетрясений. В кн.: *Проблемы сейсмичности и современной геодинамики Дальнего Востока и Восточной Сибири: Материалы регионального сейсмологического симпозиума, 1–4 июня 2010, Хабаровск*. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, с. 273–275.
15. Семенова Е.П., Коновалов А.В. **2011**. Изучение афтершоковых последовательностей сахалинских землетрясений с помощью обобщенного закона Омори. В кн.: *Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы VI Международной сейсмологической школы, 15–19 авг. 2011, Анапты*. Обнинск: ГС РАН, с. 311–315.
16. Семенова Е.П., Сафонов Д.А., Фокина Т.А. **2013**. Крильонское землетрясение 25 ноября 2013 г. с $M_w = 5.2$, $I_0=6-7$ (о. Сахалин). В кн.: *Землетрясения Северной Евразии, 22*: 466–476.
17. Солнцевский разрез – флагман Дальневосточной угледобычи. **2019**. *Уголь*, 3(1116): 36–39.
18. Стрельцов М.И., Рождественский В.С. **1995**. Активные разломы Курило-Охотского региона, Сахалина, Приморья и Приамурья. В кн.: *Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии*. М.: ОИФЗ РАН, вып. 2/3, с. 387–407.
19. Турунтаев С.Б., Слинкова Е.О., Коновалов А.В. **2015**. Сейсмичность в районе месторождений углеводородов шельфа о. Сахалин. В кн.: *Триггерные эффекты в геосистемах (Москва, 16–19 июня 2015 г.): материалы третьего Всероссийского семинара-совещания*. М.: ГЕОС, с. 39–48.
20. Фокина Т.А., Сафонов Д.А. **2012**. Горнозаводское землетрясение 17 августа 2006 г. с $MLH=8.9$, $K_c=12.0$, $I_0=7$ (Сахалин). В кн.: *Землетрясения Северной Евразии в 2006 году*. Обнинск: ГС РАН, с. 367–374.
21. Ottemöller L., Voss P., Havskov J. **2011**. *SEISAN earthquake analysis software: for Windows, Solaris, Linux and MacOSx*. URL: <https://www.uib.no/rg/geodyn/artikler/2010/02/software>
22. Utsu T. **1961**. Statistical study on the occurrence of aftershocks. *Geophysics*, 30: 521–605.
23. Utsu T., Ogata Y., Matsu'ura R.S. **1995**. The centenary of the Omori formula for a decay law of aftershock activity. *Journal of Physics of the Earth*, 43: 1–33. <https://doi.org/10.4294/jpe1952.43.1>

References

1. Adushkin V.V., Turuntaev S.B. **2015**. *Tekhnogennaya seysmichnost' – indutsirovannaya i triggernaya* [Technogenic seismicity: induced and triggered]. М.: GEOS, 364 p. (In Russ.).
2. [Geology of the USSR]. Vol. 33. [Sakhalin Island. Geological description]. **1970**. Moscow: Nedra, 432 p. (In Russ.).
3. Grishachev S.V. **2019**. Japan's governorate Karafuto (1905–1945): history and social memory. *Yearbook Japan*, 48: 272–286. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2658-6789-2019-10011>
4. Emanov A.A., Emanov A.F., Fateev A.V., Leskova E.V. **2018**. Simultaneous impact of open-pit and underground mining on the subsurface and induced seismicity. *Seismic Instruments*, 54 (4): 479–487. <https://doi.org/10.3103/s0747923918040035>
5. Konovalov A.V., Nagornykh T.V., Safonov D.A. **2014**. *Sovremennye issledovaniya mekhanizmov ochagov zemletryaseniy o. Sakhalin* [Modern studies of earthquakes source mechanisms of Sakhalin Island]. Vladivostok: Dal'nauka, 252 p. (In Russ.).
6. Konovalov A.V., Stepnov A.A., Gavrilov A.V., Manaychev K.A., Sychev A.S., Klachkov V.A., Saburov M.S. **2016**. Regional seismicity behavior in the Northern Sakhalin in connection to offshore oil and gas fields production. *Istoriya nauki i tekhniki = History of Science and Engineering*, 6: 63–71. (In Russ.).
7. Oskorbin L.S. **1977a**. [Seismicity of Sakhalin]. In.: *Seysmicheskoe rayonirovanie Sakhalina* [Seismic zoning of Sakhalin]. Vladivostok: DVNTs AN SSSR [FESC AS USSR], 3–23. (In Russ.).
8. Oskorbin L.S. **1977b**. Uravneniya seysmicheskogo polya sakhalinskikh zemletryaseniy [Seismic field equations for the Sakhalin earthquake]. In.: *Seysmicheskoe rayonirovanie Sakhalina* [Seismic zoning of Sakhalin]. Vladivostok: DVNTs AN SSSR [FESC AS USSR], 34–45. (In Russ.).
9. Oskorbin L.S., Bobkov A.O. **1997**. [Seismogenic zones of Sakhalin and the adjacent areas]. In.: *Problemy seysmicheskoy opasnosti Dal'nevostochnogo regiona* [Problems of seismic hazard of the Far East Region]. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGiG DVO RAN [IMGG FEB RAS], 54–178. (Geodinamika tektonosfery zony sochleneniya Tikhogo okeana s Evraziy = Geodynamics of tectonosphere of the Pacific-Eurasia conjunction zone; vol. 6). (In Russ.).
10. Poplavskaya L.N., Nagornykh T.V., Fokina T.A., Poplavskiy A.A., Permikin Yu.Yu., Strel'tsov M.I., Kim Chun Un, Safonov D.A., Mel'nikov O.Ya., Rudik M.I., Oskorbin L.S. **2006**. [Ulegorsk-Aynsk earthquake of August 4, 2000 with $MLH=7.0$, $I_0=8.9$ (Sakhalin)]. In.: *Zemletryaseniya Severnoy Evrazii v 2000 godu* [Earthquakes of the Northern Eurasia in 2000]. Obninsk: GS RAN [GS RAS], p. 265–284. (In Russ.).

11. Prytkov A.S., Vasilenko N.F. **2006**. The dislocation model of the 2000 Uglegorsk earthquake source (Sakhalin Island). *Tikhookeanskaya Geologiya = Geology of the Pacific Ocean*, 25(6): 115–122. (In Russ.).
12. *Regional'nyy katalog zemletryaseniya ostrova Sakhalin, 1905–2005 gg.* [Regional earthquake catalogue of Sakhalin Island, 1905–2005]. **2006**. Poplavskaya L.N. (ed.) Yuzhno-Sakhalinsk: IMGIG DVO RAN [IMGG FEB RAS], 104 p. (In Russ.).
13. Safonov D.A., Nagornyykh T.V., Fokina T.A. **2013**. [Nevelsk earthquakes of August 2, 2007 with MLH=6.3 and MLH=6.0, $I_0=8$ (Sakhalin Island)]. In.: *Zemletryaseniya Severnoy Evrazii v 2007 godu* [Earthquakes of the Northern Eurasia in 2007]. Obninsk: GS RAN [GS RAS], p. 396–407. (In Russ.).
14. Semenova E.P. **2010**. [Features of the manifestation of aftershock activity of strong Sakhalin earthquakes]. In: *Problemy seysmichnosti i sovremennoy geodinamiki Dal'nego Vostoka i Vostochnoy Sibiri: Materialy regional'nogo seysmologicheskogo simpoziuma, 1–4 iyunya 2010, Khabarovsk* [Problems of seismicity and recent geodynamics in the Far East and Eastern Siberia: Proceedings of the regional seismological symposium, 1–4 June, 2010]. Khabarovsk: ITiG DVO RAN [Institute of Tectonics and Geophysics, FEB RAS], p. 273–275.
15. Semenova E.P., Konovalov A.V. **2011**. [Studies of the aftershock sequences of Sakhalin earthquakes using the Omori generalized law]. In: *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannykh: Materialy VI Mezhdunarodnoy seysmologicheskoy shkoly, 15–19 avg. 2011, Apatity* [Modern methods of seismological data processing and interpretation: Proceedings of the 6th International seismological school, 15–19 August, 2011, Apatity]. Obninsk: GS RAN, p. 311–315.
16. Semenova E.P., Safonov D.A., Fokina T.A. **2013**. [Earthquake near Crillon cape on November 25th, 2013 with Mw=5.2, $I_0=6–7$ (Sakhalin Island)]. In.: *Zemletryaseniya Severnoy Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22(2013): 466–476. (In Russ.). <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2019.22.41>
17. [Solntsevsky open-pit coal mine – the flagship of Far Eastern coal mining]. **2019**. *Ugol'*, 3(1116): 36–39. (In Russ.).
18. Strel'tsov M.I., Rozhdestvenskiy V.S. **1995**. [Active faults of the Kuril-Okhotsk region, Sakhalin, Primorye, and Amur region]. In.: *Seysmichnost' i seysmicheskoe rayonirovanie Severnoy Evrazii* [Seismicity and seismic zoning of the Northern Eurasia]. Moscow: OIFZ RAN [UIPE of RAS], vol. 2–3: 387–407. (In Russ.).
19. Turuntaev S.B., Slin'kova E.O., Konovalov A.V. **2015**. [Seismicity in the area of hydrocarbon fields in the shelf of Sakhalin Island]. In.: *Triggernyye efekty v geosistemakh (Moskva, 16–19 iyunya 2015 g.): materialy Tret'ego Vserossiyskogo seminarov-soveshchaniya* [Trigger effects in geosystems (Moscow, 16–19 June, 2015): proceedings of the 3rd All-Russian workshop-meeting]. Moscow: GEOS, p. 39–48. (In Russ.).
20. Fokina T.A., Safonov D.A. **2012**. [Gornozavodsk earthquake on August 17, 2006 with MLH=8.9, KS=12.0, $I_0=7$ (Sakhalin Island)]. In.: *Zemletryaseniya Severnoy Evrazii v 2006 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia in 2006]. Obninsk: GS RAN [GS RAS], p. 367–374. (In Russ.).
21. Ottemöller L., Voss P., Havskov J. **2011**. *SEISAN earthquake analysis software: for Windows, Solaris, Linux and MacOSx*. URL: <https://www.uib.no/rg/geodyn/artikler/2010/02/software>
22. Utsu T. **1961**. Statistical study on the occurrence of aftershocks. *Geophysics*, 30: 521–605.
23. Utsu T., Ogata Y., Matsu'ura R.S. **1995**. The centenary of the Omori formula for a decay law of aftershock activity. *J. of Physics of the Earth*, 43: 1–33. <https://doi.org/10.4294/jpe1952.43.1>

Об авторах

СЕМЕНОВА Елена Петровна (ORCID 0000-0002-7435-961X), начальник сейсмической станции «Южно-Сахалинск», Сахалинский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Южно-Сахалинск, semenova@seismo.sakhalin.ru

БОГИНСКАЯ Наталья Владимировна (ORCID 0000-0002-3126-5138), научный сотрудник лаборатории сейсмологии, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, fily77@mail.ru

КОСТЫЛЕВ Дмитрий Викторович (ORCID 0000-0002-8150-9575), начальник отдела сейсмических стационаров, Сахалинский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», младший научный сотрудник лаборатории сейсмологии, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, d.kostylev@imgg.ru